

Habzománcok előállításának és alkalmazásának lehetőségei

Karola Kanzler, Günther Heinz Frischat, Peter Hellmold;
Clausthal Technische Universität
(Mitteilungen, 2006.03)

(Fordította: Dr. Való Magdolna)

1. Habzománcok kifejlesztésének célja

A Nichtmetallische Werkstoffe intézetben, a Clausthal Technischen Universität üveg és üvegtechnológiai tanszék professzora habzománcok kifejlesztésére kutatási tervet dolgozott ki, együttműködve ipari partnerekkel, a Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH és a Thale Email GmbH vállalatokkal.

A kutatás célja olyan új acélzománc kifejlesztése volt, amelynél a bevonat felhabosodik. Ezeket a habzománcokat az építőipar számára tervezték, építészeti burkolólemezekhez, amelyeknél a lemezek hátoldalán habos szigetelő réteggént, az elülső oldalon esztétikus, konvencionális vékony réteggént szerepel.

A habzománcoknak meg kell tartaniuk a zománcok hagyományos előnyeit, mint pl. hosszú élettartam, ellenállás a nedvességgel és a tűzzel szemben (semmi mérgező gőz) és környezetbarát tulajdonság (csekély emisszió, a diszperziós közeg víz), ezen kívül további előnyök teszik teljessé, mint a szigetelő tulajdonság. Ezért a habzománcok, a szokásos vékonyrétegű zománcokkal ellentétben, vastagrétegű zománcok, nagyszámú zárt pórrussal, amelyek mint szervesetlen hang-, hő- és vibrációs szigetelők szerepelnek. A szervesetlen bevonat pótolhatja a szerves szigetelő- és ragasztóanyagokat, amelyek éghetők és égés esetén mérgező gázokat fejlesztenek, előnyök továbbá ökológiai, ökonómiai, élettartam, valamint égéssel és nedvesedéssel szembeni ellenállás tekintetében.

Ezek a habzománcok az 5-20 mm rétegvastagságukkal túltesznek a vegyipari készülékek eddigi kb. 4 mm-es rétegvastagságán. Mivel a habüveg a legközelebbi rokon anyaga, ennek előállítási ismereteit a habzománc kifejlesztésénél figyelembe lehetett venni.

Az új habzománc legfontosabb tulajdonsága a porozitás. Ennek el kell érnie a bevonat térfogatának 80-95 %-át. Ennek ellenére megfelelő nyomószilárdságot és kötést kell garantálnia.

2. Irodalmi áttekintés

2.1 Üvegek és zománcok porozitása

2.1.1 Szervetlen porózus anyagok műszaki helyzete

Már számos porózus szervetlen anyag van a piacon, ezek némelyike hi-tech terméknek számít, mint pl. a keramikus rácsszerkezet. Mások tömegtermékek, amelyeket túlnyomóan az építőipar alkalmaz hőszigetelésre. Az **1.táblázat** áttekintést nyújt ezekről. Tekintettel a habzománc kifejlesztésére eddig csak utalások voltak a habosított anyagok kifejlesztésére, mint pl. nagyon elszigetelt áttekintő vizsgálat Spanyolországban, valamint egy szabadalmi bejelentés szervetlen habokkal történő termikus bevonatolásra.

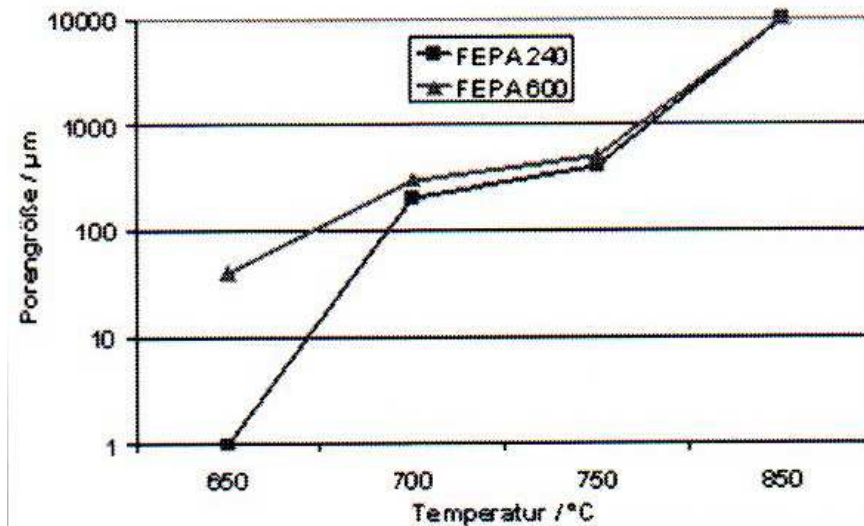
Fémek	Alumínium	szendvicsek	ütközésvédelem, hajóépítés, építkezés, repülés, űrhajózás, szállítás kerékpárváz
	Magnézium	ötvözetek	
Kerámia	Finomkerámia	nyílt pórusú szövetszerkezet bevonat	szűrők, szigetelők, könnyű szerkezet szigetelők
	Durvakerámia	porózus téglá	szigetelés, falazó anyag
	Duzzadó agyag	ömlesztett árúk	szigetelők
Üveg	Habüveg	idomok ömlesztett árúk	szűrők, szigetelők
Kötőanyagok és építőanyagok	Gázbeton	idomok	szigetelők, falazó anyag
	Könnyű vakolat pl. perlit	porózus massa ömlesztett árúk	szigetelők, falazó anyag, díszítés szigetelők

1.táblázat:
Porózus szervetlen anyagok áttekintése

2.1.2 Habzománcok műszaki helyzete

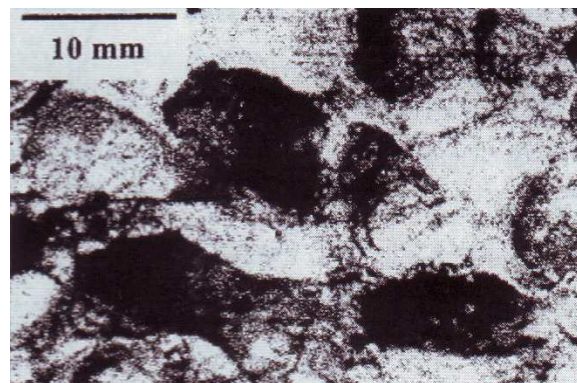
A madridi Universidad Complutense-n már tettek néhány kísérletet habzománcok előállítására. Itt acéllemezt alkalmaztak és alapzománcként a Ferro RTU-8030 zománcát a Ferro MFPE-770/S frittjével. A lemez felületét lecsiszolták, kénsavval lemaratták, és elektrosztatikusan nikkelezték. Az alapzománccport 15%-ban két különböző szemcsenagyságú SiC-vel és cinksóval, mint síkosító anyaggal, nyomás alatt tömörítették, vízben szuszpendálták, és kézzel felvitték a felületre, majd 650-850 °C között különböző hőmérsékleten 4 percig égették.

Az **1. ábrán** a kísérlet 8 mérési pontját mutatjuk be. Az acélzománcok égetési tartományában azonban a kísérlet túlságosan nagy pórusokat - $10.000\ \mu\text{m} = 1\ \text{cm}$ - eredményezett. A vizuális benyomás a **2. ábrán** látható.



1. ábra

Egy habosított alapzománc pórusainak mérete 15% SiC-dal



2. ábra

Egy habzománc mikroszkópos felvétele FEPA 240-nel

2.1.3 Hagyományos üvegek és zománcok porozitása

2.1.3.1 Zománc buborékszerkezete

Míg az üvegek homogének és ridegek, a zománcok meghatározott szerkezettel bírnak, ami bizonyos elaszticitást kölcsönöz nekik. A szerkezet alatt a mikrotartomány heterogenitását értjük, amelyek különböző fázisokból, szemcsékből, mint pl. kristálymaradványok és fritterészecskék, valamint pórusokból állnak. Ezáltal a zománcok –

bizonyos határok között – a szubsztrátum alakváltozásához illeszkedni tudnak, és a pórusok hozzájárulnak a lepattogzás elkerüléséhez.

A buborékszerkezet a fémalap és a különböző zománcok, mint pl. alap- és fedőzománc eltérő hőtágulásánál párnaként szolgál.

Az egyes pórusoknak a volumenére és az egyes pórusok nagyságára befolyással vannak a különböző zománcok, mint pl. az alap- és a fedőzománc összetétele, a zománcozási technika, a rétegvastagság és az égetés módja. Egy nem habos zománc buborék volumenét folyamatosan növeli a 100 µm feletti rétegvastagság.

Habzománcok kialakításához egyrészt az égetési hőmérsékletnek és az időnek olyannak kell lennie, hogy lehetséges legyen a maximális gázképződés. Másrészt messzemenően el kell kerülni a habzománc rétegből a gázok kilépését, ez azt jelenti, hogy a túlságosan magas égetési hőmérséklet és égetési idő, nem utolsósorban a zománcolvadék viszkozitásának csökkenése túlságosan nagy buborékokhoz vezet és ezzel egy előnytelen kigázosodáshoz, összekötve nyitott pórusok és bemélyedések keletkezésével. Ebből következik, hogy a habzománc beégetéséhez csak egy szűk hőmérséklet és idő tartomány felel meg.

Az alapzománc kötőrétege ezzel szemben nem porózus, mivel ez hígfolyós, mint maga az alapzománc. Ezáltal a buborékok az alapzománc magasabban fekvő rétegébe szállnak, és nem csökkentik a kötőképességet.

Annak érdekében, hogy az alapzománcnak a lehető legnagyobb elaszticitása legyen, az alapzománcban nagyobb kell legyen a pórustartalom, mint a fedőzománcban. A hagyományos zománcoknál ezért alacsony pórustartalmat állítanak be, alapzománcban kb. 15%-ot, fedőzománcban kb. 12 %-ot. A fedőzománc alacsonyabb pórustartalma egy kompromisszum a jó mechanikus elaszticitás és a korrózió elleni korlát kialakítása között. Erre szolgál a buborékszerkezet, mint a gázok számára a volumen puffer, pl. H_2CO_3 és CO . Ha a gázképződés túlságosan nagy, zománchibák lépnek fel, mint pl. halpikkelyek. A gázok az égetés alatt képződnek, és lényegében széndioxidból, szénmonoxidból, vízgőzből és hidrogénből állnak.

A széndioxid és a szénmonoxid az állítók és az agyag szerves alkotóiból keletkező karbonátokból képződik, valamint a lemez széntartalmának oxidációjából, az égetési folyamat során. A vízgőz az agyag és az elektrolitok víztartalmának elgázosodásából keletkezik. A hidrogént a vas és az alacsony értékű vasoxidok általi vízgőz redukció eredményezi.

A porozitás kialakulásában az agyag minősége, azaz annak kémiai és ásványtani összetétele játszik szerepet. A plasztikus agyagok, azaz a sok háromrétegű szilikátot tartalmazó agyagok, okozzák a porozitást. Ezek az agyagok erősebben szennyezettek vasoxiddal és szerves anyagokkal, mint pl. a kétrétegű szilikátok, mint pl. a kaolin. Ezért a háromrétegű szilikátok, mint malomadalékok, előnyösebbek az alapzománc számára. Ezen felül a három rétegű ásványok a folyósító tartalmuk és a kis szemcseméretük miatt, alacsony hőmérséklet tartományban tömörítnek is.

Az agyag vagy a malomadalék kvarc- és cirkontartalma ezzel szemben csökkenti a buborékképződést, és ezzel egy szabályosabb és finomabb buborékszerkezetet idéz elő. A beégetés alatt a zománc kvarc-és cirkontartalma „nyitva” marad. Mivel ezek nem olvadnak meg és nem könnyen táródnak fel, alacsony hőmérséklet tartományban megakadályozzák a zománc lezáródását. Ezzel nagy gázképződést idéznek elő a kvarc/olvadék fázishatáron. A „lágy” és „kemény” anyagok keverése ennek megfelelően a zománc kigázosodásához vezet.

A MgCO_3 , mint állítóanyag, 350-900°C hőmérsékleten feltáródik, és a karbonátok bomlásuk által elősegítik a buborékok képződését.

A kémiai összetétel mellett a zománciszap szemcséinek nagysága és azok eloszlása a buborékszerkezet keletkezésében szerepet játszik, a finomra őrlés gázbezáródáshoz vezet, mert a kis szemcsék az égetés alatt hamarabb képeznek olvadékot, mint a nagyobbak. Ennek megfelelően nagyobb pórusosságot eredményeznek.

2.1.3.2 Buborékok keletkezése üvegekben és zománcokban

Az üvegekben és a zománcokban a buborékok a nyersanyagokból az olvasztás alatt keletkeznek, az úgynevezett tömegreakciók által. Ezek a **2.táblázat** szerint bomlási reakciókra és szilárd testek reakciójára (képződési reakció) oszlanak. Emellett többek között szén- és kéndioxid, víz és oxigén szabadul fel. A 2. táblázat csak a zománc égetési hőmérséklet tartományára jellemző elegyreakciókat mutatja be.

Az elegyreakciónál keletkező gázokat a derítés során, azaz derítőanyagok hozzáadásával, az üvegolvadék viszkozitás-csökkenésével, a kb. 1450°C-ra való felmelegítésével és az olvadék pihentetésével a lehető legteljesebb mértékben kiűzik.

A derítőanyagok maguk gázleválasztó anyagok, amelyek a fent nevezett magas hőmérsékleten nagy buborékokat képeznek, és a kicsikkel együtt a felületre emelkednek.

T / °C	Kémiai reakciók
(540)	Bomlási reakció $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2\uparrow$
> 600	Szilárdtest reakció $2 \text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Ca}_2\text{SiO}_4 + 2 \text{CO}_2\uparrow$
600-800	Szilárdtest reakció $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 + 2 \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CaSiO}_3 + 2 \text{CO}_2\uparrow$
700-850	Szilárdtest reakció $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SiO}_2 + \text{CO}_2\uparrow$
830	A karbonátos olvadék oldási reakciója $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SiO}_5 \rightarrow 2 \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2\uparrow$
850	A karbonátos olvadék oldási reakciója $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2\uparrow$
(910)	Bomlási reakció $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow$
(960)	Bomlási reakció $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + 2\text{CO}_2\uparrow$

2. táblázat

A zománc beégetése alatti hőmérséklet-tartományban keletkező gázok

Az üvegek előállításánál felhasznált derítők lényegében szulfátokból, szulfidekből és nitrátokból állnak, amelyek toxikus, ökológikus és ökonomikus megfontolásból habzománcok előállításához nem alkalmazhatók.

2.2 Potenciális puffasztó anyagok zománcok számára

Puffasztó anyagon alapjában véve minden gázfejlesztő anyag értendő, amelyeknek anionjai a nagy viszkozitású zománcolvadéokban, az alkalmazott hőmérséklet-tartományban gázokat képeznek, és amelyek kationjai lényegesen nem károsítják a zománc kívánt tulajdonságait. Az elemek periódusos rendszerének áttekintése után, tekintettel a habosító vegyületekre, kihagyva a toxikus, radioaktív vagy extrém drága anyagokat, puffasztó anyagokként a habzománcok számára a következő anionok jöhetnek számításba: karbonátok $(\text{CO}_3)^{2-}$, manganátok $(\text{MnO}_4)^-$, alumínátok

$[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$, kristályvíz tartalmú anyagok, mint pl. borátok $(\text{BO}_3)^{3-}$ és más sók, agyag-ásványok, valamint természetes üvegek. A szulfátok $(\text{SO}_4)^{2-}$ és a nitrátok $(\text{NO}_3)^-$ az előzőekben nevezett okokból csak nagyon korlátozottan vehetők figyelembe. Az üvegmátrixban maradó oxidok különböző hatásaira figyelemmel kell lenni. A potenciális puffasztó anyagokat részletesen áttekintettük, ebből egy kivonatot mutatunk be a **3. táblázatban**, mellérendelve a kationjukat is.

2.3 Az irodalmi áttekintés végkövetkeztetései a kísérlet számára

- Egy habzománc kifejlesztése hasonló – de nem azonos – eljárásnak és puffasztó anyagnak köszönhető, mint a habüveg előállítása, egy üveg derítése, vagy egy konvencionális zománc gyártása.
- A lehetséges szervesetlen puffasztó anyagoknak nagy a száma, a kísérlet számára csak néhányat kell kiválasztani. A szilíciumkarbid ebben különleges helyet foglal el. Nagy jelentősége van a gázt fejlesztő CaCO_3 és K_2CO_3 hatásának is.
- Mivel a zománc viszkozitását befolyásolja a kémiai összetétel, ezeknek nagy hatása van a porozitásra, ezért ki kell próbálni az alap- és a fedőzománcot is.
- A zománc megfelelő homogenitása számára szükséges a hab különlegesen finom szemcsemérete.
- A zománc buborékszerkezetét az iszap malomadalékaival, különösen a kvarc és a cirkon adagolásával be lehet állítani. Ezek hatnak az egyenletes pórusszerkezetre és csökkentik a porozitást egy meghatározott, alacsony nivóra. A felhasználásra kész zománckeverékben, mint pl. a Premixben, ezek az adalékok már benne vannak.
- A következő kísérletekben a puffasztó anyagok megválasztásának kritériuma volt rendelkezésre állás, az ár, a toxicitás, a környezeti terhelés és a funkciója a zománcmátrixban maradó fénoxidnak.
- A habzománc döntő vizsgálati paramétere a porozitás volt. Emellett fontos szerepet játszott a kémiai ellenállóképesség, valamint a zománc kötése.

Megnevezés	Anyag	Emisszió	Tulajdonság
Az Al H ₂ O tartalmú bórvegyülete	Al ₂ O ₃ , B ₂ O ₃ , H ₂ O	H ₂ O	Nagyon sok variáns
Bauxit Alumíniumhidroxid	Al(OH) ₃ =Al ₂ O ₃ ·3H ₂ O	H ₂ O	Amorf, tiszta/szenny. „Fp”300
Alumíniumsulfát	Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18 H ₂ O Al ₂ (SO ₄) ₃ · 6 H ₂ O Al ₂ (SO ₄) ₃ · 10 H ₂ O Al ₂ (SO ₄) ₃ · 16 H ₂ O	H ₂ O, SO ₂ , O ₂	Vízoldható „Fp”90-95 Fp 770
Kaolinit csoport 2-rétegű alumoszilikát	Al ₂ [Si ₂ O ₅] (OH) ₄ = Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2 H ₂ O	H ₂ O	„Fp” 750
Illit-agyag Puffasztó csillám Vermiculit Csillámpala		H ₂ O	„Fp” 750-950
Természetes üvegek Obszidián, horzsakő, Szurokkő, perlit, porcelán	Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , H ₂ O	H ₂ O	„Fp” 750-95

3. táblázat
Példák puffasztó alumíniumvegyületekre

3. Puffasztási kísérletek üveggel és zománcsal

3.1 A kísérletek felépítése

A sokféle potenciális puffasztóanyag kipróbálásához előkísérleteket végeztünk tokos kemencében, amelynek felfűtését termoelemmel ellenőriztük. Az előkísérletekkel mind az iszapvíz, mind a fém befolyását kellett kiküszöbölni, ennek érdekében puffasztóanyaggal ellátott száraz Premix port égettünk rá kerámiára – mázatlan porcelánra-. Ezt követték különböző hőmérsékletek, puffasztó anyag koncentrációk, szemcseméret eloszlások és feldolgozási módszerek. Az előkísérletekből nyert ismereteket felhasználtuk a sorozatkísérletek paramétereinek megállapításaihoz. Előkezelt acéllemezeket bevontunk különböző puffasztószerekkel ellátott zománcokkal, amelyeket tokos kemencében égettünk ki. A puffasztás hőmérséklet tartományát a kiválasztott habosítóval gradiens kemencében (csőkemence) állapítottuk meg, és megfigyeltük a felhabosodást illetve a keletkezett zománchab összeesését. Annak érdekében, hogy a habzománc pórusszerkezetének kialakulását a habüvegével összehasonlíthassuk, habüveget is előállítottunk.

3.2 Égetési program és kemenceviszonyok

A **4. és 5. táblázat** ismerteti az elő- és a sorozatkísérletek égetési paramétereit. A kísérletek alatt kiderült, hogy a habzománc nagy rétegvastagsága miatt – 20 mm-ig – szükséges egy hűtési program is, mint ahogyan az 5. táblázat mutatja. Ezt a hűtési programot egy standard üveg hűtési programja szerint választottuk ki. További kísérletek voltak szükségesek annak eldöntésére, hogy a habzománc hűtési programját módosítani kell-e.

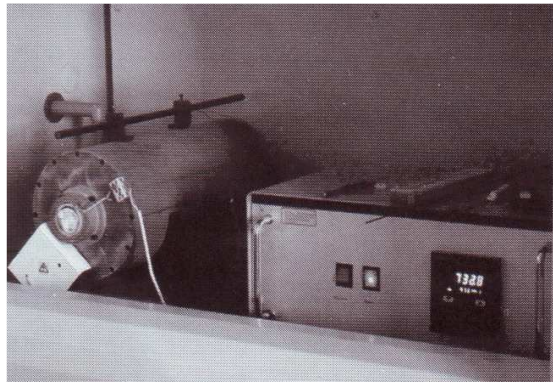
A SiC fajlagos felülete (m ² /g)	7 és 13
Égetési hőmérséklet (°C)	550, 650. 750, 850
Égetési idő (perc)	3 és 5
Puffasztóanyag koncentrációja(%)	10; 5; 2,5; 1,25 1,25/-2; 1,25/-4; 1,25/-8
Feldolgozás	Keverés, zúzás
Kiértékelés Félkvantitatív Vékony csiszolat	Réteg, térfogat, kötés Videomikroszkópos felvétel

4. táblázat
Az előkísérlet égetési programja

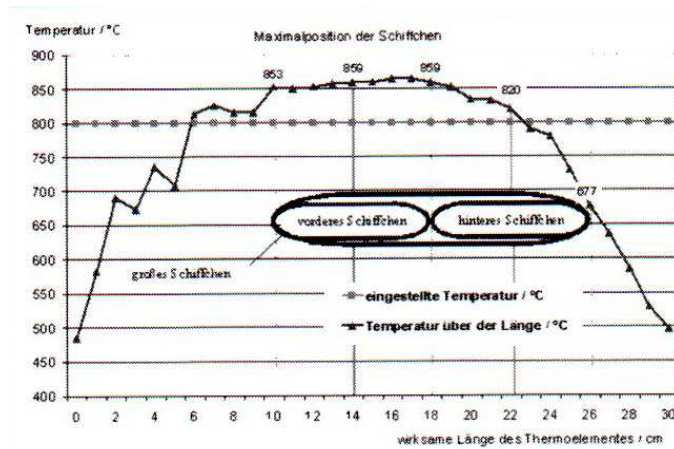
Égetési hőm.		Égetési idő		Puff.anyag konc.		Hűtési viszony.	
°C		perc		%		°C	óra
800	820	2	4	2,5	5	600	2

5. táblázat
A sorozatkísérlet égetési programja

A **3. ábra** mutatja a csőkemencét a zárt fűtőcsővel és a **4. ábra** a csőkemence hőmérséklet változását a kemence hosszában a próbák helyzetével. Annak érdekében, hogy a csőkemence radiális hőmérsékletváltozását a puffasztási hőmérséklet-tartomány meghatározásához kihasználjuk, 2 kis próbacsónakot toltunk egy nagy csónakban a kemencébe, és így szimuláltuk az alagútkemence vagy az U kemence felfűtési viszonyait. Egyidejűleg megfigyeltük a felpuffadást, és feljegyeztük az ehhez tartozó puffadási tartományt.



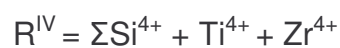
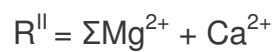
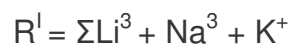
3. ábra
Csőkemence szabályozóval

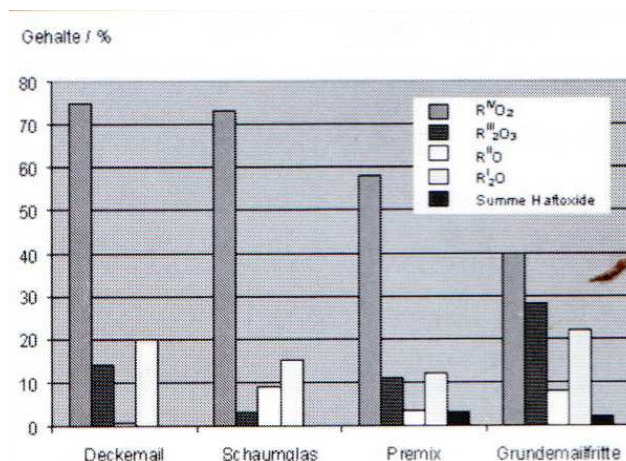


4. ábra
Hőmérsékletváltozás a csőkemence hosszában

3.3 A próbák kémiai összetétele

Azt alkalmazott zománcok és a habüveg kémiai összetétele szerepel az **5. ábrán**.
Ennél:





5. ábra
Az alkalmazott zománc és habüveg kémiai összetétele

3.4 A habosító megválasztása

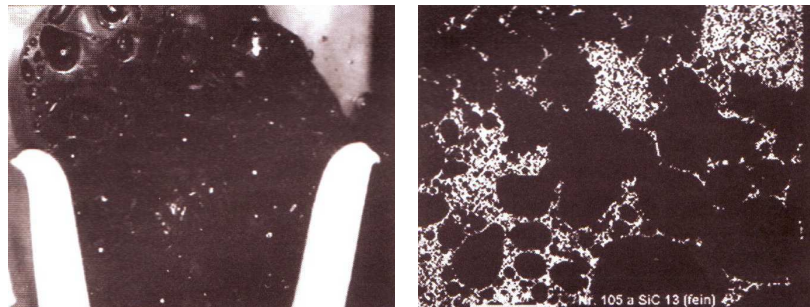
A habosító megválasztásának kritériuma a hozzáférhetőség, az ár, a toxicitás, a keletkező reakciós termék fajtája, mint pl. SO_2 , NO_x , HCl , és a hab alkotói, amelyek behatolnak a zománc mátrixba, mint pl. Ba , Pb , Sr , Cr . A továbbiakban a környezeti hatás, az üveg/zománc nyersanyag viselkedése, a kémiai stabilitás, a viszkozitás és a felületi feszültség jön még számításba.

3.5 A puffasztási kísérletek eredménye

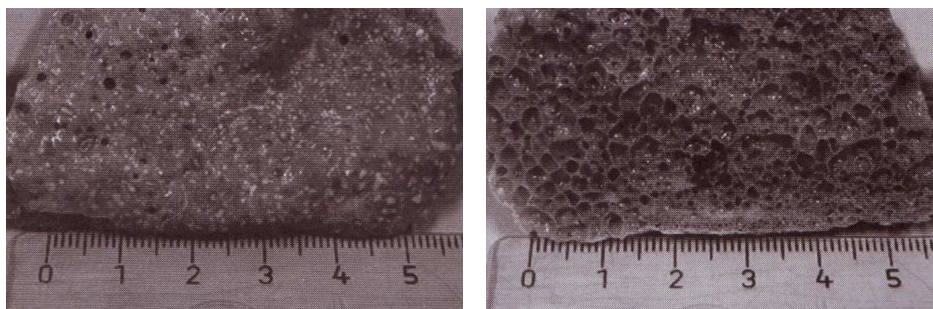
- Az előkísérletek azt mutatták, hogy sem a zománc hagyományos égetési hőmérsékletét, sem az égetési idejét nem változtatja meg a habosító adalék.
- A habosító anyag csekély mennyisége – kb. 2,5-max. 10 % - a legkedvezőbb, különösen a sok, kicsi, zárt buborékok keletkezésére való tekintettel. A nagyobb koncentráció az **1. 2. és a 8. ábra** szerint túlságosan nagy buborékok keletkezéséhez vezet.
- A habnak lehetőleg finom szemcseméretűnek kell lennie, és az iszappal jól homogenizáltnak.
- A nem megfelelő habok szerves anyagokat tartalmaznak, érdekes módon a habüveg gyártásánál alkalmazott szén is igazolta. De a SiC – amely a szénhez hasonló puffasztó anyag a habüveg gyártásánál – mutatta a legjobb eredményt a habzománc előállításánál, de lényegesen kisebb koncentrációban, csak 5 %, a 15 %-kal szemben. A hamuszír (K_2CO_3) is jó habosító anyag, amennyiben a zománc nagy viszkozitást mutat. A hamuszír jobb hatásának más alkáli- és földalkáli-

karbonáttal szemben, az az oka, hogy a K^x „hosszú üveget” eredményez, azaz az adott viszkozitáscsökkenés hosszú hőmérséklet tartományra vonatkozik.

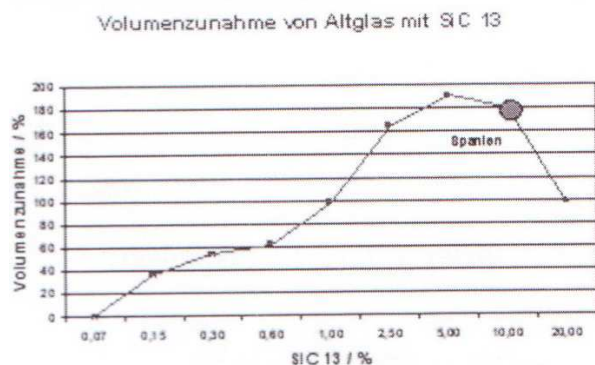
- A **6. ábra** egy SiC-dal habosított alapzománc fotografikus és videomikroszkópikus felvételt mutat, a **7. ábra** egy habosított fedőzománc felső és alsó fényképét.
- A **8. és a 9. ábra** a habüveg gyártásának eredményét mutatja. Itt látszik, hogy a porozitás sok puffasztó anyag adagolása által csökken, ennek folytán porozitás maximum lép fel, amely a kémiai környezettől függ.
- A **10. ábra** mutatja, hogy alapzománcnál 90 %-os porozitás is elérhető. Elvileg ez a nagy porozitás inkább lehetséges egy magunk által készített alapzománc receptnél, amelynél a buborékokat kiűző komponens – kvarc és cirkon – a recepturából eliminálva van.



6 ábra
Premix alapzománc SiC-dal, 13 m/g



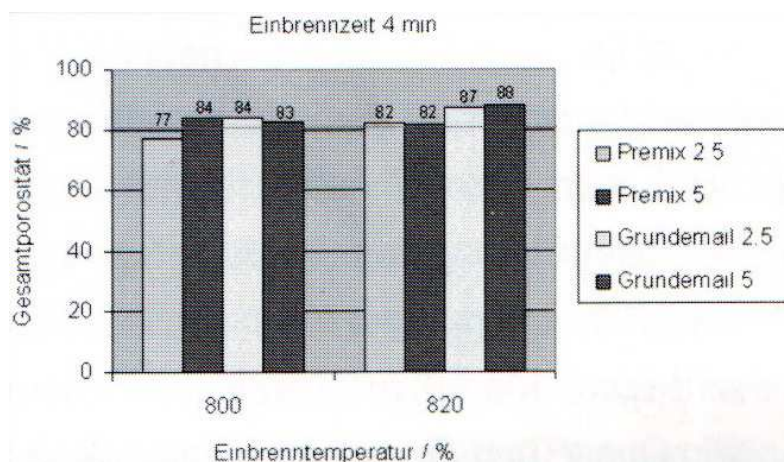
7. ábra
Fedőzománc síkosító keverék, bórx és citromsav keverékével



8. ábra
Habüveg használt üvegből



9. ábra
Habüveg 5 % SiC-dal



10. ábra
SiC-os alapzománc porozitása

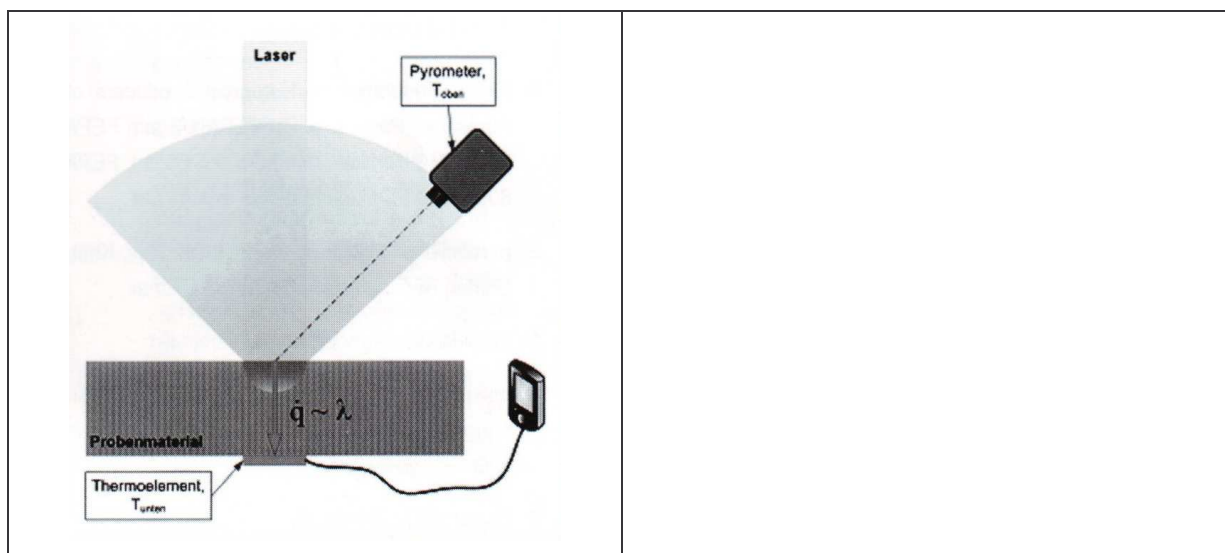
4. A habzománc hővezetőképessége

Az alkalmazó számára a legfontosabb anyagtulajdonság a lehető legalacsonyabb hővezetőképesség, feltételezve a habzománc nagy porozitását. Ezt a DIN 52 612 szerint lehet vizsgálni. Ehhez egy legalább 500x500x10-125mm nagyságú próbalap szükséges.

A szükséges 10-125 mm-es rétegvastagság miatt a hagyományos zománcokhoz alkalmazott eljárások nem használhatók. A habzománc számára ez az eljárás azzal a feltétellel alkalmas, hogy az építészeti lemezeket a fent nevezett vastagságban kell előállítani, és abszolút fizikai méréseredményt kell elérni, pl. hőátadási együttható (U érték).

A habzománc kifejlesztésének fázisában bebizonyosodott, hogy ez az eljárás a kívánt próbaméret (felület) és a készülékhez tartozó kiadások miatt nem megfelelő.

Ezért ennek a kutatásnak keretében elsőként a habzománc hővezetőképességének méréséhez tájékoztató kísérleteket végeztünk, amelyek a próba geometriájának különleges követelményeit kielégítette. A **11.ábra** mutatja a lézer munkaelvét a különböző habzománc-próbák hővezetőképességének összehasonlítására és becslésére.



11. ábra
Habzománcok hővezetőképességének tájékoztató mérése

Itt a lézer konstans teljesítménnyel felmelegíti a habzománc egy pontját. Meghatározott időtartam után, pl.6 perc, a felső oldalon lévő pont és az alsó oldal között keletkező hőmérséklet különbség mértéke a hővezetőképességnek. Jó habzománc esetén a hőmérséklet különbség lehetőség szerint nagy. Hővezető anyag esetén, pl. fém, a hőmérséklet különbség ezzel szemben nulla.

	Felső oldal	Alsó oldal 6 perc után
Jó hővezető anyagnál, pl. fém	150°C	≈ 150°C
Jól szigetelő anyagnál pl.habzománc	150°C	90°C

6. táblázat
Első mérési eredmények

5. Összefoglalás

- A szervetlen, porózus szigetelőanyagok területén elért ismeretekre való tekintettel egy szigetelőzománc kifejlesztése logikus és innovatív.
- A habzománc, mint az egyéb szervetlen szigetelőanyagok, a nem éghető szigetelőanyagokhoz tartozik. Ezáltal ez az anyag a különösen nagy biztonságot követelő építmények, mint pl. az alagutak és a repülőterek, számára különösen alkalmas.
- A habzománc kifejlesztésének már fennálló értékei már nem szórványos természetűek. Ez nem a kötelező minőségi követelményeket elégíti ki, mint pl. finom eloszlás, azonosan nagy, zárt pórusok a nagy hőszigeteléshez, valamint jó mechanikai és kémiai stabilitás. A próbák szerint a pórusok nagyságát csökkenteni lehet az égetési hőmérséklet csökkentésével és nagyobb szemcsenagyságú habosító megválasztásával. Mindkét intézkedés a zománc minőségére nincs jelentőséggel, mivel egy elegendően magas égetési hőmérséklet az acél cunderosodásához szükséges, hogy a zománccal kialakuljon a kötőréteg. Hiányzik még a tudományos vizsgálat a pórusok keletkezésének hatásmódjához, valamint a képződésének paramétereire.
- Eddig a legjobb habosítónak a habüveg gyártásból ismert SiC bizonyult, de nem az éppen úgy alkalmazott szén. A nagyon finom szemcseloszlású SiC-t nagyon jól kell homogenizálni az iszappal.
- A szerves puffasztóanyagok, mint pl. a fa vagy a cukor, a zománc porózussá tételénél nem jönnek számításba.
- A tiszta habosító olvadási és bomlási hőmérséklete nem utal a puffasztási képességére, mivel a gázképződéshez az üveg-és a zománckomponensek kémiai reakciói a mértékadók. További habosítók és habosító kombinációk alkalmazása lehetséges, amelyeknél az iszapreceptúrát módosítani kell. A SiC-dal való habosítás is akkor sikerült legjobban, ha a receptúrából a kvarcot és a zirkont kihagytuk.
- A munka keretében részletes vizsgálatokat végzünk további habosítókkal, valamint zománc összetételekkel.
- A hővezetőképesség mérését a habzománc esetében nem lehet a hagyományos módon végezni. Ezért a habzománccnál az első orientáló vizsgálatokat lézer segítségével végeztük.